

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Адаптивная делительная автоматика по частоте и напряжению для энергорайонов с объектами распределенной генерации

УДК 621.311.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Г	Арютин Елизавета Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Абеуов Р. Б.	к. т. н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Подопригора И. В.	к. э. н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Универсальные компетенции</i>		
P1	<i>Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-1, 3; ОПК-1, 2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , работодателей
P2	<i>Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.</i>	Требования ФГОС (ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , работодателей
P3	<i>Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.</i>	Требования ФГОС (ОК-2, 3; ОПК-1; ПК-1, 2, 3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , работодателей
P4	<i>Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.</i>	Требования ФГОС (ОК-3; ОПК-1, 4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , работодателей
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P5	<i>Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном</i>	Требования ФГОС (ОПК-4; ПК- 4-6) *, Критерий 5 АИОР (п.1.1), согласованный с

* Указаны коды компетенций по ФГОС (направление 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника), утвержденному Приказом Министерства образования и науки РФ № 1500 от 21.11.2014 г.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	контексте в инновационной инженерной деятельности, связанной с автоматизированными системами диспетчерского управления в электроэнергетике.	требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P6	Ставить и <i>решать инновационные задачи</i> инженерного анализа при проектировании, эксплуатации и обслуживании автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.	Требования ФГОС (ПК-1, 7,8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P7	Выполнять инновационные <i>инженерные проекты</i> по разработке аппаратных и программных средств автоматизированных систем диспетчерского управления электроэнергетических систем с использованием современных методов проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных систем.	Требования ФГОС (ПК-2, 9, 10, 11). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P8	Проводить инновационные <i>инженерные исследования</i> в области автоматизированных систем управления электроэнергетических систем, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.	Требования ФГОС (ПК-3, 13, 14, 15, 24-26). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Проводить <i>технико-экономическое обоснование</i> проектных решений; осуществлять профессиональную деятельность руководствуясь требованиями стандартов и рынка; разрабатывать планы и программы организации профессиональной деятельности на предприятии; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.	Требования ФГОС (ПК-11, 12, 13, 16-20, 24, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
P10	Проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные</i> , наладочные работы оборудования и программного обеспечения по профилю профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-22, 23, 25, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Р11	<i>Осваивать новое оборудование и программное обеспечение в сфере автоматизации диспетчерского управления;</i> проверять техническое состояние и остаточный ресурс эксплуатируемых программно-технических комплексов и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.	Требования ФГОС (ПК-27, 28), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>
Р12	Разрабатывать рабочую <i>проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять <i>оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.	Требования ФГОС (ПК-29, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , <i>работодателей</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) Шестакова В.В.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Г	Арютиной Елизавете Андреевне

Тема работы:

Адаптивная делительная автоматика по частоте и напряжению для энергорайонов с объектами распределенной генерации	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10.02.2020 г № 41-35/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Исследуемая модель энергорайона с электростанцией малой мощности 2. Исходные параметры схемы: параметры генерирующих узлов; мощность нагрузки в узлах схемы; каталожные данные трансформаторов; параметры проводов ВЛ 3. Средство для расчетов ПК Matlab
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Глава 1. Постановка проблемы и задачи исследования</p> <p>1.1. Основные проблемы эксплуатации энергорайонов с ЭСММ в составе энергосистем</p> <p>1.2. Проблемы обеспечения основных режимных параметров</p> <p>1.3. Проблемы обеспечения устойчивости параллельной работы энергорайонов с ЭСММ с энергосистемой</p> <p>Глава 2. Способы и средства обеспечения устойчивой работы энергорайонов с ЭСММ</p> <p>2.1 Обзор существующих способов обеспечения устойчивой работы энергорайонов с ЭСММ</p> <p>2.2 Обзор существующих средств обеспечения устойчивой работы энергорайонов с ЭСММ</p> <p>Глава 3 Разработка общих требований к адаптивной делительной автоматике (АДА)</p> <p>3.1 Возможные пути повышения эффективности устройств делительной автоматики</p> <p>3.2 Формулирование общих принципов работы АДА</p> <p>3.3 Формулирование общих принципов построения АДА</p> <p>Глава 4 Формулирование общих конструктивных решений по разработке АДА</p> <p>4.1 Разработка алгоритма работы АДА</p> <p>4.2 Разработка структурно-функциональной схемы АДА</p> <p>4.3 Моделирование работы АДА</p>						
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point)</p>						
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Раздел</th> <th>Консультант</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</td> <td>Подопригора И. В.</td> </tr> <tr> <td>Социальная ответственность</td> <td>Мезенцева И. Л.</td> </tr> </tbody> </table>	Раздел	Консультант	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора И. В.	Социальная ответственность	Мезенцева И. Л.	
Раздел	Консультант						
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора И. В.						
Социальная ответственность	Мезенцева И. Л.						
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: нет</p>							

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	17.02.2020 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
-----------	-----	------------------------	---------	------

Доцент ОЭЭ ИШЭ	Абеуов Р. Б.	к. т. н., доцент		17.02.2020 г.
----------------	--------------	------------------	--	---------------

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Г	Арютинa Е. А.		17.02.2020 г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Г	Арютиной Елизавете Андреевне

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	бакалавриат	Направление	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материалов и оборудования; Трудоемкость работы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы амортизации
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления в социальные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Технико-экономическое обоснование НТИ, SWOT-анализ, определение срока сравнения конкурентных решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование работ по НТИ Расчет бюджета НТИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение научно-технического уровня НТИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	17.02.2020 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Подопригора И. В	к. э. н., доцент		17.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Г	Арютин Е. А.		17.02.2020 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Г	Арютиной Елизавете Андреевне

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	бакалавриат	Направление	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Предметом исследования является разработка алгоритма работы, структурно-функциональной схемы, а также моделирование работы устройства АДА, применяемого для быстрого восстановления баланса мощности при делении сети на две отдельно работающие части</p>
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Вредные факторы – повышение уровня шума, отклонение показателей микроклимата, отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Опасные факторы – поражение электрическим током</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны 	<p>Воздействие объекта на литосферу – отходы и утилизация</p>

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<ul style="list-style-type: none"> – Возможные ЧС – обрушение зданий, землетрясения, авиационные катастрофы, ураганы, аварии на тепловых сетях в холодное время года, терроризм, удар молнии в здание – Наиболее типичная ЧС – пожар
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 21889-76 – ГОСТ Р 50923-96 – ГОСТ 12.2.032-78 – ГОСТ 12.2.033-78 – ТК РФ
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	нет

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	17.02.2020 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И. Л.			17.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Г	Арютина Е. А.		17.02.2020 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 91 с., 12 рис., 16 табл., 29 источников, 2 прил.

Ключевые слова: делительная автоматика, деление сети, электростанция малой мощности, энергорайон, частота, напряжение.

Объектом исследования является энергорайон с электростанцией малой мощности.

Цель работы – разработка автоматики выделения энергорайона с электростанцией малой мощности на сбалансированную нагрузку при возникновении системных аварий в энергосистеме.

В процессе исследования проводились расчеты в ПК Matlab.

В результате исследования разработан алгоритм и структурно-функциональная схема устройства адаптивной делительной автоматики.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: наличие вычислительного и распределительного модулей.

Степень внедрения: требует дополнительных технологических решений.

Область применения: щит релейной защиты подстанции.

Экономическая эффективность/значимость работы: внедрение устройства позволит существенно повысить эффективность выделения энергорайонов с электростанциями малой мощности на изолированную работу, уменьшить финансовые затраты на технологическое присоединение и в целом повысить надёжность электроснабжения энергорайонов с электростанциями малой мощности в аварийных ситуациях, приводящих к недопустимому снижению основных режимных параметров ЭЭС.

В будущем планируется доработать устройство.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АВР – автоматическое включение резерва;
АВСН – автоматика выделения станции на собственные нужды;
АДА – адаптивная делительная автоматика;
АЛАР – автоматика ликвидации асинхронного режима;
АПВ – автоматика повторного включения;
АР – асинхронный режим;
АЧР – автоматика частотной разгрузки
ГТУ – газотурбинная установка;
ДА – делительная защита;
ДАН – делительная автоматика по напряжению;
ДАЧ – делительная автоматика по частоте;
КЗ – короткое замыкание;
ОГ – отключение части генераторов;
ОН – отключение нагрузки;
ПС – подстанция;
ПК – программный комплекс;
РЗиА – релейная защита и автоматика;
УВ – управляющее воздействие;
УР – установившийся режим;
ЦП – центр питания;
ЭСММ – электростанция малой мощности

Оглавление

Принятые сокращения	14
ВВЕДЕНИЕ	17
1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	18
1.1 Основные проблемы эксплуатации энергорайонов с ЭСММ в составе энергосистем.....	18
1.2. Проблемы обеспечения основных режимных параметров.....	19
1.2.1 Проблемы поддержания частоты.....	19
1.2.2. Проблемы поддержания напряжения.....	21
1.3. Проблемы обеспечения устойчивости параллельной работы энергорайонов с ЭСММ с энергосистемой	23
1.3.1. Обеспечение статической устойчивости энергосистемы.....	23
1.3.2. Особенности динамической устойчивости генераторов ЭСММ	24
1.5. Выводы по разделу	25
2 СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ЭНЕРГОРАЙОНОВ С ЭСММ	27
2.1. Обзор существующих способов обеспечения устойчивой работы генераторов с ЭСММ.....	27
2.2. Обзор существующих средств обеспечения устойчивой работы энергорайонов с ЭСММ	30
2.3. Выводы по разделу	31
3 РАЗРАБОТКА ОБЩИХ ТРЕБОВАНИЙ К АДАПТИВНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКЕ	33
3.1. Возможные пути повышения эффективности устройств делительной автоматики	33
3.2. Формулирование общих принципов работы АДА	34
3.3. Формулирование общих принципов построения АДА.....	34
3.4. Выводы по разделу	37
4 ФОРМУЛИРОВАНИЕ ОБЩИХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ АДАПТИВНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКЕ	38
4.1. Разработка алгоритма работы АДА	38
4.2. Разработка структурно-функциональной схемы АДА	40
4.3. Моделирование работы АДА	45
4.4. Выводы по разделу	50
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	52

5.1. Анализ конкурентоспособности технического решения.....	52
5.2 SWOT-анализ.....	54
5.3. Планирование работ по НТИ.....	55
5.4. Расчет бюджета НТИ.....	59
5.4.1. Расчет материальных затрат.....	59
5.4.2. Расходы на оплату труда	60
5.4.3. Отчисления во внебюджетные фонды	61
5.4.4. Амортизационные отчисления.....	62
5.4.5. Накладные расходы.....	63
5.5. Формирование бюджета затрат на разработку проекта.....	63
5.6. Анализ и оценка научно-технического уровня НИР.....	64
5.7. Выводы по разделу	66
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	67
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
6.2. Производственная безопасность	69
6.2.1. Отклонение показателей микроклимата	70
6.2.2. Превышение уровня шума.....	71
6.2.3. Отсутствие или недостаток естественного света	72
6.2.4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	73
6.2.5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	74
6.3. Экологическая безопасность	76
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78
6.5. Выводы по разделу	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	81
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	84
ПРИЛОЖЕНИЕ А	87
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	89

ВВЕДЕНИЕ

Электростанции малой мощности (ЭСММ) в настоящее время находят широкое применение в системах электроснабжения. Представляется перспективным использование их для повышения надежности и эффективности энергоснабжения коммунально-бытовых объектов.

Внедрение ЭСММ является одним из перспективных направлений развития современной электроэнергетики и одним из эффективных средств, помогающих справиться с интенсивным ростом нагрузки, особенно в крупных городах и мегаполисах. Однако оно сопровождается возникновением в распределительной сети ранее не характерных для нее электрических режимов.

Изменения режимов работы в энергосистеме, связанные с развитием принципов децентрализованного производства электроэнергии, требуют решения целого ряда научно-исследовательских задач. Среди них, одной из наиболее важных, является построение адаптивной автоматики, как системы, призванной предотвращать развитие и минимизировать последствия аварийных режимов в энергорайонах с ЭСММ.

Технические вопросы внедрения ЭСММ, вопросы создания противоаварийного управления на уровне распределительной сети, а также вопросы связанные с внедрением в энергосистему объектов распределенной генерации отражены в публикациях П.В. Илюшина, Г.С. Нудельмана, Ю.Н. Кучеровым и А.Г. Фишовым и др. Тем не менее, в настоящее время проработка вопросов построения автоматики энергосистем в условиях внедрения в них ЭСММ является недостаточной; отсутствует теоретическая база для принятия обоснованных решений в части противоаварийной автоматики, как при подключении ЭСММ к энергосистеме, так и на этапе планирования дальнейшего развития малой распределённой энергетики в России.

1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Основные проблемы эксплуатации энергорайонов с ЭСММ в составе энергосистем

На территории России наблюдается постоянный рост объектов малой генерации за счет газотурбинных установок (ГТУ), дизельных электростанций (ДЭС) и газопоршневых установок (ГПУ), которые, как правило, подключаются к распределительным электрическим сетям или к сетям электроснабжения промышленных предприятий [1]. Как правило, развитие малой генерации обусловлено экономическими аспектами.

При использовании агрегатов ЭСММ возникают некоторые технические проблемы, которые являются достаточно серьезными как для собственников объектов малой генерации, так и для сетевых компаний, к сетям которых подключаются ЭСММ.

Из проблемных технических вопросов можно выделить следующие [2]:

- механические повреждения агрегатов ЭСММ из-за воздействия ударных токов при возникновении многофазных коротких замыканий (КЗ) или неуспешных автоматических повторных включений (АПВ) во внешней электрической сети;
- нарушения динамической устойчивости агрегатов ЭСММ при многофазных КЗ во внешней электрической сети;
- возникновение синхронных качаний агрегатов ЭСММ (незатухающие синхронные колебания активной мощности) обусловленные неправильной настройкой автоматического регулятора возбуждения (АРВ);
- невозможность обеспечения регулирования частоты вращения генераторов при параллельной работе с сетью и при автономной работе;

- неуспешные выделения агрегатов ЭСММ действием автоматики на сбалансированную нагрузку (АВСН) в связи с отключением агрегатов ЭСММ технологическими защитами при резких наборах / сбросах нагрузки;

В действительности существует несколько причин, почему постоянно проводится анализ проблемных вопросов, возникающих с ЭСММ [2]:

- снижение ожидаемой экономической эффективности от внедрения объекта малой генерации (удорожание проекта; увеличение удельных расходов топлива и т.п.);

- невозможность обеспечения надежного электроснабжения потребителей от ЭСММ в автономном режиме работы;

- ускоренное истощение ресурса генерирующего оборудования с необходимостью проведения досрочного ремонта или технического обслуживания;

- повреждение генерирующих установок при нормативных возмущениях в сетях энергосистемы.

Однако, ЭСММ продолжают вводиться достаточно большими темпами и в больших объемах, подключаться на параллельную работу с энергосистемой и создавая тем самым определенные технологические трудности.

1.2. Проблемы обеспечения основных режимных параметров

Электроэнергетический режим энергосистемы главным образом характеризуется такими параметрами, как частота электрического тока и напряжение на шинах электростанций и подстанций. Для обеспечения функционирования энергосистемы осуществляется управление режимом энергосистемы, которое включает в себя мероприятия по поддержанию частоты электрического тока в диапазоне допустимых значений и поддержание допустимых уровней напряжения на электростанциях и подстанциях.

1.2.1 Проблемы поддержания частоты

Согласно [3], в ЕЭС России должно быть обеспечено поддержание значений частоты, усредненных на 20-секундном временном интервале в пределах $50,00 \pm 0,05$ Гц (нормальный уровень) при допустимом отклонении частоты $50,0 \pm 0,2$ Гц с восстановлением нормального уровня частоты за время, не превышающее 15 минут.

Генерирующее оборудование электрических станций, за исключением атомных, должно работать в следующих регулировочных диапазонах:

А) длительно при изменении частоты 49,0 – 51,0 Гц;

Б) кратковременно в диапазоне частот электрического тока:

- 50,5 – 51,0 Гц – продолжительностью не более трех минут;
- 49,0 – 48,0 Гц – продолжительностью не более пяти минут;
- 48,0 – 47,0 Гц – продолжительностью не более одной минуты;
- 47,0 – 46,0 Гц – продолжительностью не более десяти секунд;
- 46,0 Гц – не более одной секунды.

При снижении частоты ниже 46,0 Гц работа генерирующего оборудования невозможна.

В дефицитных энергосистемах проблема обеспечения нормального значения частоты стоит достаточно остро, особенно в случае потери связи с энергосистемой. При этом мощности собственных генераторов критически недостаточно для поддержания режима, а резерва мощности зачастую нет. В таком случае необходимо деление сети и отключение большого количества нагрузок.

При системной аварии, когда происходит недопустимое снижение частоты, генераторы ЭСММ, подключенные к энергосистеме, будут втянуты в лавину частоты.

В таком случае существует два варианта ликвидации аварийного режима. Первый вариант – действие автоматики разгрузки по частоте, которая ограничит нагрузку, как в энергосистеме, так и у части потребителей

энергорайона с ЭСММ. Это приведет к недоотпуску электроэнергии потребителям, которые не пострадали бы при выделении ЭСММ на автономный режим работы. Вторым вариантом является отделение района ЭСММ от энергосистемы, что приведет к предотвращению развития системной аварии в данном энергорайоне и сохранению в работе всех потребителей электроэнергии. Однако в этом случае в выделенном энергорайоне нагрузка и генерация должны быть сбалансированы, либо величина небаланса мощности была такой, чтобы после выделения энергорайона с ЭСММ на изолированный режим работы не возникало глубокого снижения частоты, приводящего к лавине частоты.

1.2.2. Проблемы поддержания напряжения

Максимальное рабочее напряжение – максимальное пиковое значение рабочего напряжения или величина рабочего напряжения тока, включая повторяющиеся максимальные импульсы, генерируемые в оборудовании, но исключая внешние переходные процессы. Наибольшие рабочие напряжения электрооборудования и электрических сетей для некоторых классов напряжений представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Наибольшие рабочие напряжения для электрических сетей и электрооборудования

Класс напряжения электрооборудования, кВ	Наибольшее рабочее напряжение электрооборудования, кВ	Номинальное напряжение электрической сети, кВ	Наибольшее длительно допускаемое рабочее напряжение в электрической сети, кВ
3	3,6	3,0	3,5
		3,15	3,5
		3,3	3,6
6	7,2	6,0	6,9
		6,6	7,2

Продолжение таблицы 1

10	12,0	10,0	11,5
		11,0	12,0
35	40,5	35,0	40,5
110	126,0	110,0	126,0

Наименьшие напряжения определяются из условий сохранения устойчивой работы двигательной нагрузки, потребителей распределительной сети, двигателей собственных нужд электростанций, а также обеспечения допустимых уровней напряжения на шинах потребителей с точки зрения обеспечения качества электрической энергии.

В общем случае допустимое понижение напряжения в электрической сети составляет $0,7U_{\text{ном}}$. На шинах потребителей допустимое отклонение напряжение согласно [3] составляет $\pm 10\%$.

Регулирование напряжения осуществляется комплексом средств, ограничивающих отклонения напряжения у потребителей. Такими средствами являются: регулирование напряжения генераторов путем изменения возбуждения, применение трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) или линейных регуляторов и установка на подстанциях средств компенсации реактивной мощности.

Для обеспечения нормального уровня напряжения необходимо поддерживать баланс реактивной мощности в системе. Основная часть проблем регулирования напряжения приходится на аварийные и послеаварийные режимы.

Основная часть аварийных режимов, при которых необходимо отделить ЭСММ от энергосистемы, происходит при снижении напряжения до недопустимых уровней. К таким режимам, в частности, относятся:

- затяжные короткие замыкания во внешней сети;
- нарушения устойчивости по напряжению;

– локальные дефициты мощности, связанные со снижением напряжения.

1.3. Проблемы обеспечения устойчивости параллельной работы энергорайонов с ЭСММ с энергосистемой

Отклонения установившегося режима могут быть связаны с изменением баланса мощности, как активной, так и реактивной, с возникновением КЗ и незапланированным отключением оборудования.

Для каждой энергосистемы существуют критические значения режимных параметров, характеризующие предел устойчивости. Надежное функционирование энергосистемы возможно только при наличии определенного запаса между нормальными и критическими значениями параметров энергосистемы.

1.3.1. Обеспечение статической устойчивости энергосистемы

В настоящее время проблема обеспечения статической устойчивости энергосистем обретает особую актуальность по причине постоянного усложнения их структуры и режимов.

При присоединении к энергосистеме новых генерирующих мощностей возникает необходимость обеспечения их устойчивой параллельной работы с энергосистемой. Зачастую присоединяемые к энергосистеме ЭСММ работают в составе энергорайонов, сбалансированных по нагрузке и генерации. Такие энергорайоны, в основном, относятся к сфере нефтедобычи, и распределение электроэнергии происходит на низком (6–10 кВ) или среднем (35 кВ) напряжении.

Подключение ЭСММ к энергосистеме решает задачу обеспечения резервной мощности в энергорайоне, однако, в случае параллельной работы генераторов с энергосистемой возникает ряд новых проблем. Одной из таких

проблем является нарушение устойчивости в энергосистеме, к которой подключена ЭСММ.

Разного рода возмущения, возникающие в энергосистеме, приводят к нарушению исходного установившегося режима и соответственно к колебаниям в генераторах ЭСММ, ввиду изменения баланса мощности. Такие колебания не должны влиять на нормальную работу генераторов ЭСММ и приводить к нарушениям электроснабжения потребителей энергорайона.

При более серьезных нарушениях режима и потере статической устойчивости в энергосистеме, генераторы на ЭСММ могут выпадать из синхронизма, что приводит к нарушению нормального режима работы и потере электроснабжения потребителей.

Во всех случаях колебания роторов генераторов ЭСММ приводят к нарушению баланса моментов на валу турбины и электромагнитного момента ротора генератора. Вследствие этого возникают ускоряющие или тормозящие моменты на валу генератора, что может привести к недопустимым отклонениям параметров электрической сети даже без нарушения устойчивости.

Другой проблемой является низкий запас по статической устойчивости в самой энергосистеме. Это возможно при наличии слабых связей с низкой пропускной способностью, и при полном или частичном отключении таких связей нарушается статическая устойчивость. Поскольку генераторы мощностью до 12 МВт имеют малую постоянную инерции, то они быстрее прочих выпадают из синхронизма, что приводит к еще большему ухудшению аварийной ситуации.

1.3.2. Особенности динамической устойчивости генераторов ЭСММ

Опасность нарушения динамической устойчивости возникает при больших возмущениях в энергосистеме, таких как КЗ, отключение мощных

линий электропередач, отключения крупных блоков электростанций, не связанных с КЗ.

Если отключается одна цепь линии слабой связи, то мощность, передаваемая по второй цепи, будет превышать предельно допустимую и при этом сопротивление электропередачи изменится, что приведет к изменению электромагнитного момента на валу генератора. Вследствие этого возникает избыточная мощность, и дальнейшее развитие такого режима приводит к нарушению синхронной работы генераторов ЭСММ с энергосистемой и возникновению асинхронного режима.

Под асинхронным режимом понимается работа генератора и энергосистемы при нарушении условий синхронной работы. Условием синхронной работы является равенство частот генератора и энергосистемы, при этом угол разности фаз должен быть постоянным, либо равен нулю. В случае нарушения этих условий в энергосистеме возникают уравнительные токи, соизмеримые с током трехфазного короткого замыкания. В самой тяжелой ситуации возникает устойчивый асинхронный ход, при котором существует угроза разрушения оборудования действием уравнительных токов и нарушение функционирования энергосистемы как единого объекта.

Одной из серьезных причин нарушения динамической устойчивости являются КЗ. В этом случае в системе происходит снижение напряжения на шинах подстанций и потребителей ЭЭС, затрагивает так же и энергорайоны с ЭСММ из-за общности их режима.

1.5. Выводы по разделу

Характеристики энергосистемы при внедрении в неё ЭСММ будут определяться увеличением разнообразия генераторных установок, расширением функциональных возможностей распределительных сетей, сложностью режимов работы распределительных сетей.

Кроме того, можно сделать вывод, что ЭСММ с прилегающим энергорайоном при подключении к энергосистеме, приобретают актуальные проблемы характерные для больших энергосистем: обеспечение нормируемых значений напряжения на шинах и частоты в сети.

2 СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ЭНЕРГОРАЙОНОВ С ЭСММ

2.1. Обзор существующих способов обеспечения устойчивой работы генераторов с ЭСММ

Пути повышения или сохранения устойчивости можно разделить на две группы [4]:

1. Конструктивное улучшение параметров основного оборудования энергосистем:

- уменьшение индуктивных сопротивлений (x_d , x'_d) и увеличение механической инерции (T_j) генераторов, двигателей;
- повышение номинальных напряжений сети энергосистемы;

2. Пути эксплуатационного характера:

- отключение части синхронных машин в аварийном режиме;
- регулирование перетоков мощности по линиям электропередачи;
- разделение энергосистемы;

Рассмотрим поподробнее данные способы.

Параметры генераторов оказывают существенное влияние, как на статическую, так и на динамическую устойчивость. При использовании на генераторах АРВ с зоной нечувствительности, на статическую устойчивость влияет величина синхронного индуктивного сопротивления x_d , а на динамическую устойчивость, переходное сопротивление x'_d и величина постоянной инерции T_j .

Постоянная инерции существенно влияет на динамическую устойчивость машины. Чем больше T_j («тяжелее» машина), тем медленнее изменяется скорость ее ротора под действием избыточного момента. Это увеличивает предельно допустимое время существования аварийного режима,

повышая устойчивость системы. Однако эксплуатируемые в настоящее время агрегаты ЭСММ имеют малую постоянную инерции и как следствие это не позволяет влиять на ДУ. В качестве выхода из данной ситуации видится использование на агрегатах ЭСММ импульсную разгрузку турбин, а также замена агрегатов на более «тяжелые» машины.

Параметры линий и их номинальное напряжение оказывают существенное влияние на устойчивость системы. Рост номинального напряжения линии повышает $R_{пр}$ и это повышение тем больше, чем длиннее линия. Уменьшение реактивного сопротивления ЛЭП путем увеличения числа цепей экономически невыгодно и является обычно вынужденным мероприятием, применяемым при невозможности обеспечить ДУ другими способами. Уменьшение реактивного сопротивления ЛЭП можно достигнуть расщеплением провода. Однако в энергорайонах, где эксплуатируются агрегаты ЭСММ расщепление проводов является экономически невыгодным мероприятием.

Весьма быстрое отключение КЗ также является эффективным способом улучшения динамической устойчивости электрических систем. Эффективность этого способа объясняется уменьшением длительности периода ускорения генераторов. Данное мероприятие достигается применением современных средств РЗА, а также быстродействующих выключателей.

Для поддержания напряжения в аварийных условиях находят применение регуляторы напряжения. Эффективность регуляторов, относительно статической устойчивости, очень велика – их применение существенно увеличивает максимум характеристики мощности генераторов. Регуляторы, восстанавливая напряжение, значительно увеличивают устойчивость генераторов и нагрузки в послеаварийных режимах.

Отключение генераторов применяется для предотвращения нарушений устойчивости, ликвидации асинхронного режима, ограничения повышения частоты, ограничения перегрузки оборудования и характеризуется текущим значением нагрузки отключаемых генераторов. Достоинством отключения

генераторов при большом избытке мощности в системе является большая величина ступеней отключения и простота реализации данного управляющего воздействия, однако это не позволяет дозировать управляющее воздействие. Так же ОГ позволяет разгружать электрические связи, не прибегая к отключению нагрузки.

Деление сети на несинхронно работающие части применяется для предотвращения нарушения устойчивости, ликвидации асинхронного режима, ограничения снижения частоты, перегрузки оборудования, повышения эффективности действия отдельных видов противоаварийной автоматики.

Выделение электростанции или района со сбалансированной нагрузкой выполняется для предотвращения:

- нарушений технологических процессов у потребителей, чувствительных к изменению частоты и напряжения;
- лавины напряжения;
- потери собственных нужд электростанций или отдельных генераторов при нештатных аварийных ситуациях.

Деление системы производится отключением линий с запретом АПВ, трансформаторов или разделением шин электростанций и подстанций в одном из заранее подготовленных сечений.

Во всех случаях при делении сети существенно значение небаланса мощности, создаваемого им в разделенных частях. Значение небаланса должно оперативно или автоматически изменяться в целях обеспечения допустимых уровней режимных параметров.

При выборе сечений ДС рекомендуется минимизировать количество точек деления и объемы управляющего воздействия для обеспечения допустимого послеаварийного режима в разделившихся частях. Отключению подлежат все связи, входящие в сечение ДС. Реализация данного воздействия не должна приводить к недопустимым отклонениям режимных параметров и перегрузкам в разделившихся частях.

2.2. Обзор существующих средств обеспечения устойчивой работы энергорайонов с ЭСММ

Для решения задач обеспечения устойчивости согласно [3] автоматическое противоаварийное управление в энергосистеме реализуется посредством устройств и комплексов ПА, обеспечивающей выполнение следующих функций:

- предотвращение нарушения устойчивости;
- ликвидация асинхронных режимов;
- ограничение снижения или повышения частоты;
- ограничение снижения или повышения напряжения;

Автоматическая частотная разгрузка обеспечивает предотвращение недопустимого по условиям устойчивой работы генерирующего оборудования и энергопринимающих установок потребителей снижения частоты и ее последующего восстановления. АЧР функционально подразделяется на два устройства [3]:

- АЧР-1, предназначенные для прекращения процесса снижения частоты;
- АЧР-2, предназначенные для восстановления частоты после действия АЧР-1 или при медленном ее снижении.

Устройства частотной делительной автоматики (ЧДА) предназначены для предотвращения полного останова генераторов электростанций при недопустимом снижении частоты в энергосистеме и недостаточной эффективности АЧР. Они действуют на выделение электростанций на сбалансированную нагрузку или на питание собственных нужд.

Отдельно стоит рассмотреть делительную автоматику по частоте (ДАЧ). ДАЧ действует на выделение электростанции на сбалансированную нагрузку и позволяет сохранить в работе отдельные части энергосистемы при развитии системной аварии со снижением частоты. Так же создается возможность

быстрой ликвидации аварии для энергорайона с электростанцией малой мощности и восстановление нормального значения частоты.

В случае снижения напряжения в энергосистеме ниже допустимых значений применяется автоматика ограничения снижения напряжения (АОСН). Данная автоматика предназначена для предотвращения недопустимого по условиям устойчивости генерирующего оборудования и энергопринимающих установок потребителей электроэнергии снижения напряжения. Устройства АОСН контролируют величину и длительность снижения напряжения на объектах электроэнергетики.

Действие устройства АОСН в качестве делительной автоматики по напряжению (ДАН) позволяет выделить энергорайон на сбалансированную нагрузку и предотвратить участие электростанции малой мощности в развитии лавины напряжения. При этом сохраняется электроснабжение потребителей энергорайона с электростанцией малой мощности.

При нарушении динамической устойчивости и возникновении асинхронного режима (АР) генераторов на электростанции применяется автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР), которая выявляет и ликвидирует АР отдельных генераторов, электростанций и частей энергосистем.

Быстрая ликвидация АР возможна в тех случаях, когда объект малой генерации внедряется только в целях выработки электрической энергии, без решения задачи обеспечения надежного электроснабжения потребителей.

2.3. Выводы по разделу

В настоящее время при внедрении генерирующих установок оснащение генераторов набором защит часто рассматривается как достаточная мера по обеспечению надежности их работы в составе сети. При этом состав и

параметры срабатывания защит определяются без согласования с защитами элементов прилегающей сети. Такой подход приводит к избыточным отключениям генерирующих установок при большинстве внешних повреждений, нормально отключаемых действием защит соответствующих элементов.

Для повышения эффективности противоаварийного управления необходимо полностью автоматизировать запуск агрегатов ЭСММ, обеспечить расчетную настройку уставок регуляторов мощности и реализовать возможность приема и передачи команд от устройств ПА в общестанционное устройство управления.

3 РАЗРАБОТКА ОБЩИХ ТРЕБОВАНИЙ К АДАПТИВНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКЕ

3.1. Возможные пути повышения эффективности устройств делительной автоматики

Делительная автоматика (ДА) выполняет функции выделения отдельных энергорайонов от энергосистемы в случае возникновения опасного возмущения или развития аварийного режима.

Критерии и алгоритм действия существующих делительных защит, используемых в централизованных энергосистемах, а также на отдельных ЭСММ, достаточно подробно рассмотрены в литературе и нормативной документации [5, 6, 7]. Однако, изменение структуры генерирующих мощностей, связанное с активным развитием принципов распределенной генерации, может потребовать их дополнения и пересмотра.

В настоящее время работа ДА предусматривается в следующих режимах [7]:

- 1) Режим потери связи с энергосистемой.
- 2) Внешние короткие замыкания.
- 3) Системные аварии.

Следует заметить, что наиболее часто ситуации, требующие отделения малых электростанций на сбалансированную нагрузку, связаны с затяжными внешними КЗ, с возникновением значительных локальных дефицитов мощности. Кроме того, имеет место высокая вероятность развития аварии, связанных со снижением напряжения, в особенности, если фрагмент сети, содержащий локальную электростанцию, соединен с магистральной сетью энергосистемы не напрямую, а через протяженную распределительную сеть.

Решение новых задач управления малой генерацией потребует создания селективной быстродействующей защиты во внешней сети, совершенствования

противоаварийного управления и реализации мероприятий по обеспечению надежной и устойчивой работы локальных энергосистем генерацией в автономном режиме.

3.2. Формулирование общих принципов работы АДА

На практике при выделении ЭСММ на нагрузку района не учитывают ряд важных факторов:

- режим работы ЭСММ;
- состояние схемы сети энергорайона и схемы станции;
- невозможность предусмотреть правильности действий оперативного персонала, который вынужден работать в очень сжатые сроки на фоне быстроменяющихся параметров.

Для устранения приведенных недостатков наиболее эффективной могла бы стать адаптивная делительная автоматика (АДА).

Основными функциями АДА являются:

- Непрерывное слежение за положением коммутационных аппаратов в схеме сети;
- Сбор данных по значениям мощности генерирующих источников ЭСММ и потребляющих мощностей;
- Непрерывный расчёт управляющих воздействий;
- Выдача управляющих воздействий на отключение нагрузки с целью достижения баланса между генерацией и потреблением в энергорайоне.

3.3. Формулирование общих принципов построения АДА

В последние годы ДА стала использоваться для автоматического отделения от энергосистемы некоторых ТЭЦ и ГЭС (со сбалансированной нагрузкой), в случае образования большого дефицита мощности и опасного снижения частоты в энергосистеме. Такая аварийная ситуация может иметь

место в тех случаях, когда действиями автоматики частотной разгрузки (АЧР) не удалось восстановить частоту до значения, близкого к нормальному. Тогда возникает опасность дальнейшего снижения частоты и напряжения в энергосистеме.

Однако по снижению частоты до заданного значения не всегда можно судить о размере образовавшегося дефицита мощности. После действия делительной защиты может произойти отделение генераторов с нагрузкой, намного превосходящей их мощность, и даже действие АЧР не сможет обеспечить нормальную частоту. Для такой электростанции наиболее целесообразно выполнять делительную защиту, реагирующую на скорость изменения частоты.

Для восстановления нормальных (или близких к нормальному) параметров электрического режима (частота и напряжение) в отделившейся сети при отсутствии резерва генерирующей мощности, как известно, существует единственный способ – отключение части электроприемников. Это отключение должно производиться АЧР или делительной защитой (ДЗ), действующей при снижении частоты (напряжения) на отделение местных электростанций со сбалансированной нагрузкой от остальной нагрузки сети.

С точки зрения сохранения наиболее ответственных потребителей во всей отделившейся сети предпочтительнее произвести равномерную разгрузку путем отключения от АЧР всех менее ответственных потребителей электроэнергии.

Поскольку аварийные ситуации являются характерными для большинства ЭЭС, к которым могут быть подключены энергорайоны с электростанциями малой мощности, то наиболее целесообразным видится разработка multifunctional устройства ДА, при этом оно должно отвечать следующим требованиям:

- устройство должно осуществлять эффективное выделение энергорайонов с ЭСММ на изолированную работу, при различных аварийных ситуациях в энергосистеме;

- все функциональные блоки должны размещаться в одном шкафу;
- устройство должно отвечать всем требованиям, предъявляемым в настоящее время к устройствам РЗиА.

Устройство АДА должно быть построено по следующему принципу: управляющее воздействие вводится на основании текущей оценки параметров электрического режима – данный способ аналогичен системе автоматического управления с обратной связью, работающей на основании непрерывного сравнения фактического состояния с требуемым [6]. Таким образом, устройство приобретает функцию адаптивности за счет автоматической перенастройки противоаварийных УВ в зависимости от полученной информации о параметрах энергорайона и энергосистемы в режиме реального времени и обработки ее в доаварийном режиме, что позволит производить отключение необходимого объема нагрузки на ПС исключив тем самым избыточное отключение нагрузки

Для реализации описанных выше функций, адаптивная делительная автоматика должна иметь информационные каналы связи, а также иметь определенную функционирующую структуру. Для повышения эффективности действия АДА информационные каналы связи должны осуществлять и передавать следующие виды информации:

1. Информацию о состоянии схемы и параметрах режима энергосистемы до наступления аварии.

2. Информация об аварийном небалансе мощности.

В общем случае функциональная часть АДА должна содержать следующие элементы [6,8]:

1. Элементы для измерения и фиксации параметров доаварийного режима. Данный элемент производит контроль предшествующего режима;

2. Пусковые органы (ПО) – элементы выявляющие факт возникновения возмущения (органы фиксации отключения линии, отключения трансформатора, а также снижения частоты и напряжения).

3. Устройства автоматической дозировки воздействия (АДВ) – вычислительный комплекс, определяющий объем управляющих воздействий.

4. Исполнительные органы (ИО).
5. Средства для телепередачи информации.

3.4. Выводы по разделу

Увеличение доли малых генераций в составе энергосистемы создает предпосылки для пересмотра принципов и алгоритмов ДА с учетом появляющихся при этом особенностей электрических режимов.

Проведённый анализ существующих устройств ДА показал, что в настоящее время для выделения энергорайонов с электростанциями малой мощности на изолированную работу, во всех перечисленных ранее аварийных ситуациях, требуется установка нескольких устройств РЗА, что приводит к увеличению капитальных вложений и требует большего количества мест в релейных залах подстанций для размещения этих устройств. Поскольку аварийные ситуации (снижение напряжения и частоты, нарушение статической и динамической устойчивости) являются характерными для большинства энергосистем, к которым могут быть подключены энергорайоны с электростанциями малой мощности, то наиболее целесообразным видится разработка многофункционального устройства ДА.

Разработка и внедрение такого многофункционального устройства делительной автоматики позволит существенно повысить эффективность выделения энергорайонов с ЭСММ на изолированную работу, уменьшить финансовые затраты на их технологические присоединения и в целом повысить надёжность электроснабжения этих энергорайонов в аварийных ситуациях.

4 ФОРМУЛИРОВАНИЕ ОБЩИХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО РАЗРАБОТКЕ АДАПТИВНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ АВТОМАТИКЕ

4.1. Разработка алгоритма работы АДА

В настоящее время модернизация энергосистем в направлении внедрения объектов малой генерации различных энергетических установок является мировой тенденцией. Наибольший эффект от применения ЭСММ, потенциально обеспечивающих надежность и качество электроснабжения, достигается при работе их параллельно с внешней распределительной сетью в составе энергосистемы. Вместе с тем, при параллельной работе ЭСММ с энергосистемой существует и много нерешенных проблем.

Адаптивная делительная автоматика создается для решения следующих задач:

- Сохранения устойчивости ЭСММ и уменьшение вероятности глубокого развития аварий.
- Сохранение электроснабжения большей части потребителей.

Для решения этих задач устройство АДА должно удовлетворять современным техническим требованиям быстродействия, адаптивности, селективности, надежности и экономичности, а также, общим требованиям и основным параметрам предъявляемым к ПА стандарта ПАО «ФСК ЕЭС» [9].

Быстродействие АДА обеспечивается за счет полного и непрерывного решения задач дозировки воздействий в предаварийном режиме.

При этом также выполняется требование к адаптивности ДА за счет автоматического перерасчета противоаварийных УВ в зависимости от полученной информации о состоянии электрической схеме, параметрах электрической сети и объемах электропотребления в режиме реального времени и обработка её в доаварийном режиме.

Алгоритм работы устройства представлен на рисунке 1. В первую очередь выполняется проверка отклонения частоты f от её номинального значения $f_{\text{ном}}$ (проверка баланса активной мощности в момент, предшествующий отделению):

Рисунок 1 – Алгоритм реализации УВ устройства АДА

Если $f > f_{max}$, активную мощность генерации в энергорайоне необходимо снижать ($P_{Г\downarrow}$), а если $f > f_{min}$, то увеличивать ($P_{Г\uparrow}$). В случае достижения мощностью генератора значения, ограниченного значением $P_{Г\max}$, принимается, что $P_{Г=} P_{Г\max}$ и дальнейшие действия по нормализации отклонения частоты выполняются путем снижения мощности нагрузки ($P_{н\downarrow}$) с учетом категорирования электроприемников конкретных потребителей (отключаются менее ответственные электроприемники), наиболее близко расположенных к генератору.

Аналогично выполняется проверка допустимых отклонений напряжения (проверка баланса реактивной мощности в момент, предшествующий отделению). Если $U > U_{max}$, то необходимо уменьшать выработку реактивной

мощности генераторов ЭСММ, при этом в случае достижения ею нижнего ограничения ($Q_{\Gamma} \leq Q_{\Gamma \min}$) она фиксируется ($Q_{\Gamma} = Q_{\Gamma \min}$). Дальнейшее снижение уровня напряжений в сети возможно путем повышения загрузки связей за счет увеличения активной ($P_{\text{н}} \uparrow$) и реактивной ($Q_{\text{н}} \uparrow$) нагрузок. Если $U < U_{\min}$, следует увеличивать выработку генератором реактивной мощности, и при достижении ею верхнего предела ($Q_{\Gamma} \geq Q_{\Gamma \max}$) она фиксируется ($Q_{\Gamma} = Q_{\Gamma \max}$). Для дальнейшего повышения уровня напряжений в узлах электрической сети, необходимо снизить загрузку связей за счет уменьшения активной ($P_{\text{н}} \downarrow$) и реактивной ($Q_{\text{н}} \downarrow$) нагрузок. Реализация алгоритма заканчивается после выполнения условий допустимости режима в энергорайоне по уровням частоты и напряжения (сохранение баланса активной и реактивной мощности).

4.2. Разработка структурно-функциональной схемы АДА

Принципиальная схема электрической сети энергорайона с ЭСММ приведена на рисунке 2. Объектом исследования является энергорайон с ЭСММ (в данном случае ГТЭС) подключенный к распределительной сети энергосистемы.

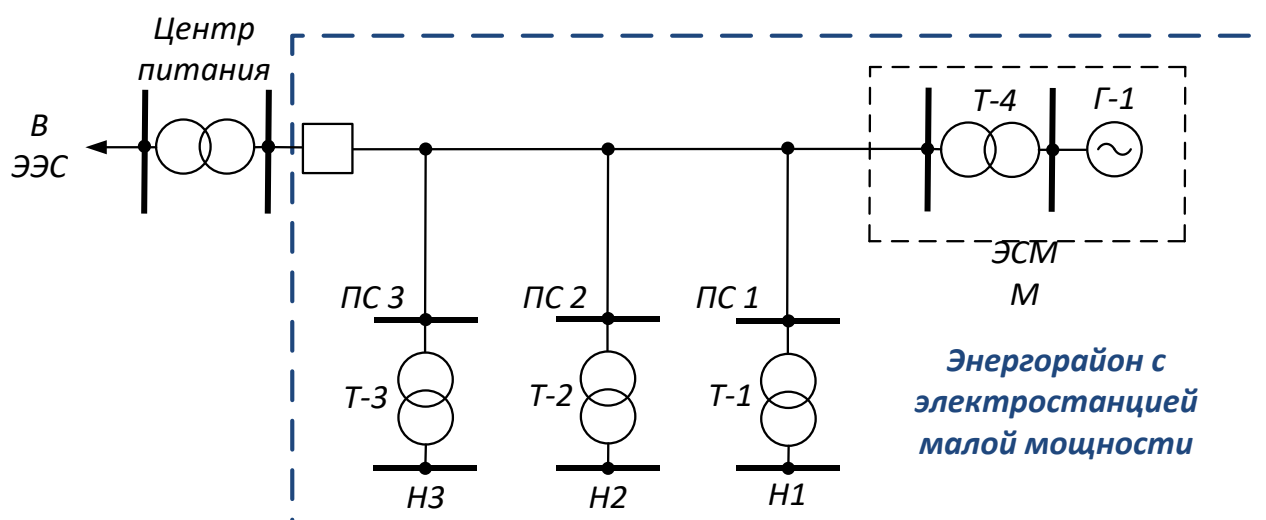


Рисунок 2 – Схема энергорайона с электростанцией малой мощности

На основе требований к АДА, описанных в главе 3, на рисунке 3 разработана схема функциональных связей устройства адаптивной делительной автоматики.

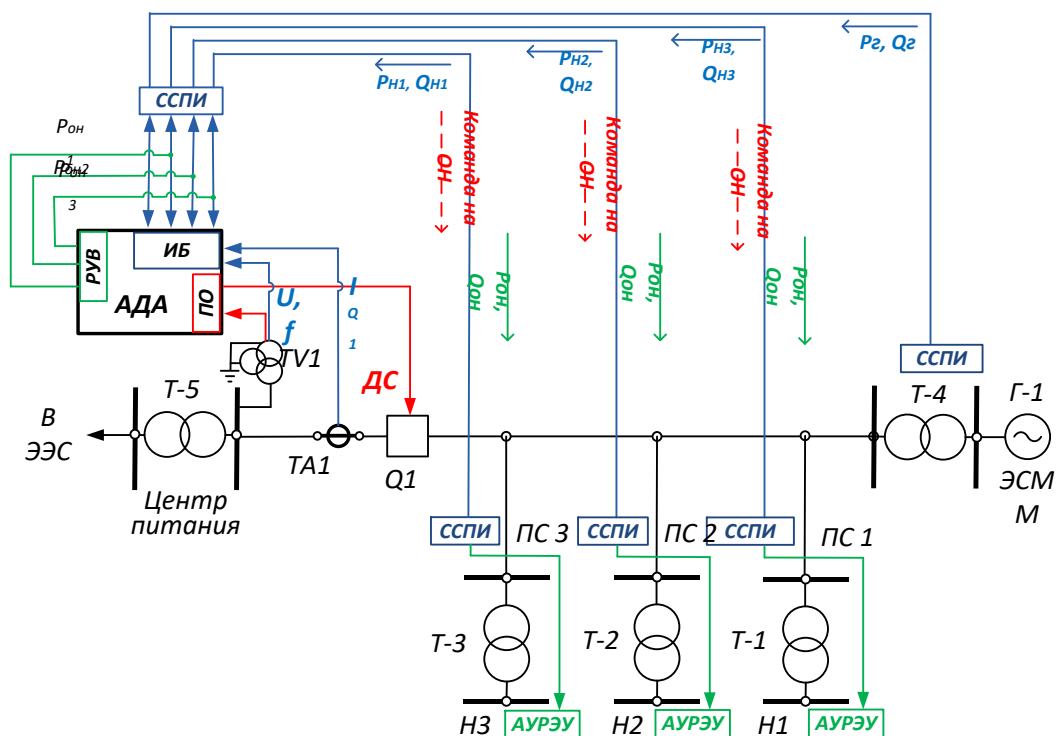


Рисунок 3 – Схема функциональных связей устройства АДА

Устройство АДА в общем случае должно иметь в своём составе пусковые органы, измерительный и вычислительный блоки, а также блок распределения управляющих воздействий.

Пусковые органы делительной автоматики действуют при снижении частоты и/или напряжения.

Для обеспечения работы пускового органа по факту снижения частоты необходимы аналоговые входы, для присоединения к трансформаторам напряжения, и цифровые входы, для задания уставок по частоте, а также дискретный вход для внешней блокировки работы ПО.

Для функционирования управляющей системы и выработки программной информации для управляющих устройств необходима информация о протекании процесса производства и распределения электроэнергии. Поэтому в управляющую систему входят информационные

устройства. Передаваемая ими информация вводится в вычислительные комплексы, либо становится визуализированной.

Основным отличием АДА от существующих устройств ДА, является наличие вычислительного блока (ВБ), который должен непрерывно производить расчёт объёмов УВ по данным текущих измерений режимных параметров энергосистемы и энергорайона (до и после отделения на изолированную работу) и передавать их в блок распределения управляющих воздействий (БРУВ) с последующей переадресацией в систему сбора и передачи информации (ССПИ) и в автоматические устройства разгрузки энергоузла (АУРЭУ), установленные на подстанциях ПС1, ПС2 и ПС3 энергорайона (рисунок 2).

В общем виде суммарная активная мощность нагрузки энергорайона, которая подлежит отключению, вычисляется по формуле:

$$\Delta P_{откл.нагр} = \frac{\sum P_{Г}}{1,05} - \sum P_{нагр} \cdot \left(1 + \frac{(f_{ном} - f_{предш})}{f_{ном}} \cdot K_{pf}\right) \quad (1)$$

где $\sum P_{Г}$ – суммарная активная мощность, вырабатываемая генераторами ЭСММ на момент, предшествующий выделению энергорайона, МВт;

$\sum P_{нагр}$ – суммарная активная мощность, потребляемая нагрузкой в момент, предшествующий выделению энергорайона, МВт;

$f_{предш}$ – частота напряжения на шинах центра питания (ЦП) на момент, предшествующий выделению энергорайона, Гц;

K_{pf} – коэффициент регулирующего эффекта нагрузки.

В случае, если после выделения энергорайона с ЭСММ, частота находится на уровне ниже 49 Гц, вычислительный блок рассчитывает небаланс активной мощности в энергорайоне исходя из отклонения частоты от номинального значения по следующему выражению:

$$\Delta P_{откл.нагр} = \sum P_{Г} \cdot \frac{(f_{ном} - f_{предш})}{f_{ном}} \cdot K_{pf} \quad (2)$$

Разгрузку по реактивной мощности можно осуществить двумя способами: по контролю баланса реактивной мощности и контролем «запаса» реактивной мощности (рисунок 4) [10].

В первом случае, в качестве объема отключения нагрузки по реактивной мощности служит возникший небаланс:

$$\Delta Q = Q_{\text{ПОТ}} - Q_{\text{ГЕН}} \quad (3)$$

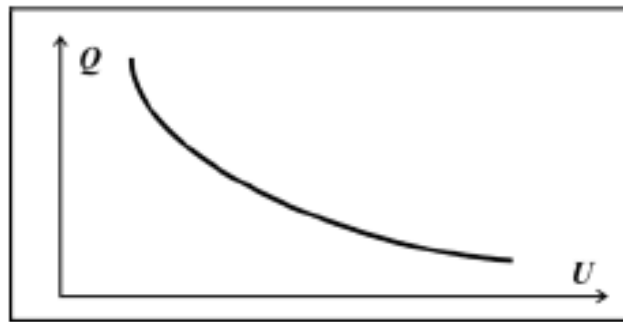


Рисунок 4 – Реализация разгрузки с контролем «запаса» реактивной мощности

Второй способ основывается на анализе текущего режима по реактивной мощности с использованием качественной зависимости, отражающей связь реактивной мощности с напряжением в узлах потребления (рисунок 4). Чем ниже значение напряжения, тем больше реактивной мощности необходимо для обеспечения устойчивости отделившегося энергорайона. Таким образом, происходит сопоставление текущих значений напряжений на шинах подстанций с качественной зависимостью $U(Q)$ и в момент отделения энергорайона на изолированную работу становится ясным, какой объем реактивной мощности нужно отключить, чтобы данный энергорайон с ЭСММ выделился на сбалансированную нагрузку. В данном случае такая зависимость должна быть построена для каждой подстанции, входящей в энергорайон с ЭСММ.

Полученные объемы управляющих воздействий должны быть распределены между нагрузками подключенных к энергорайону подстанций. Данную роль выполняет блок распределения управляющих воздействий (БРУВ). Распределение УВ между подстанциями должно происходить

пропорционально измеренным значениям мощностей нагрузок потребителей. Для оптимального распределения УВ между подстанциями энергорайона в алгоритме расчета УВ, также должен использоваться коэффициент участия нагрузки подстанции k_i в общем потреблении энергорайона:

$$k_i = \frac{P_{ni}}{P_{n\Sigma}} \quad (4)$$

Автоматические устройства разгрузки энергоузла (АУРЭУ) представляют собой отдельное законченное исполнительное устройство, принимающие объемы УВ и производящее отключение отдельных потребителей. Разработка данного устройства является самостоятельным вопросом и в данной работе не рассматривается.

На основе описанных компонентов можно составить структурно-функциональную схему устройства АДА (рисунок 5).

Устройство работает следующим образом. При возникновении аварийной ситуации в энергосистеме приводящей к недопустимому снижению частоты, либо напряжения, установленное на шинах центра питания ПО устройства АДА, по факту снижения частоты или напряжения ниже уставки срабатывания, формирует команду на деление сети (ДС), непосредственным воздействием на автоматику управления выключателем Q1 и команду на отключение нагрузки (ОН). Одновременно с этим, на основании последних измеренных ИБ параметров, в ВБ рассчитываются объёмы УВ на отключение части нагрузок Н1, Н2, Н3 (рисунок 2), в соответствии с описанным выше алгоритмом.

БРУВ производит распределение объемов УВ по подстанциям энергорайона, передаёт дозирующие УВ в АУРЭУ, установленным на подстанциях ПС1, ПС2 и ПС3 энергорайона. АУРЭУ разрешает реализовать УВ только при приеме на него команды на ОН, поступающей от ПО, в иных других случаях автоматика находится в дежурном режиме.

Фактически, на момент выделения энергорайона, производится отключение нагрузки для создания нового баланса мощности в изолированном районе с ЭСММ.

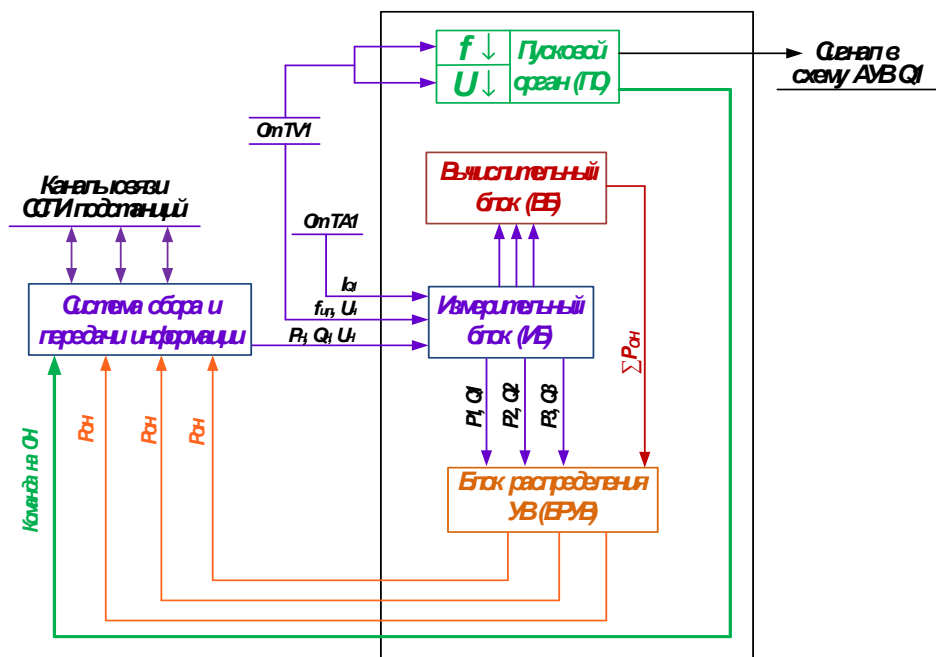


Рисунок 5 – Структурно-функциональная схема устройства АДА

4.3. Моделирование работы АДА

Объектом исследования является рассмотренный выше энергорайон с ЭСММ (в данном случае ГТЭС) подключенный к распределительной сети энергосистемы. Схема довольно простая: от шин ГТЭС мощностью 24 МВт запитаны три подстанции напряжением 35/6 кВ с дополнительным отбором мощности из энергосистемы для покрытия дефицита электроэнергии в энергорайоне.

Моделирование энергорайона производилось в ПК Matlab. Параметры генерирующих узлов, мощность нагрузки, марки трансформаторов, а также необходимые данные для расчета представлены в Приложении А.

На рисунке 6 приведена модель энергорайона с ЭСММ.

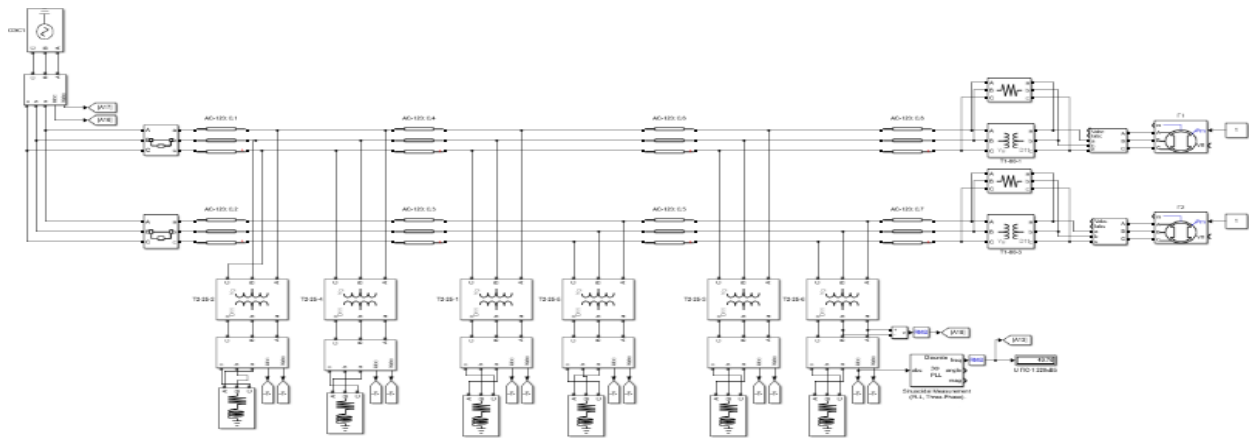


Рисунок 6 – Модель энергорайона с ЭСММ в ПК Matlab;

Помимо установившегося режима для исследования изменения частоты и напряжения в выделенном энергорайоне, рассчитывались и переходные режимы. Переходные режимы выполнялись для следующих условий:

- Выделение энергорайона на несбалансированную нагрузку;
- Выделение энергорайона на сбалансированную нагрузку.

При отделении от энергосистемы происходит недопустимое снижение частоты и напряжения. Как описано выше агрегаты ЭСММ при снижении частоты до 49 Гц и напряжения до значения $0,9U_{ном}$ с выдержкой 0,2 с отключаются технологическими защитами, и как следствие энергорайон остается без питания.

На рисунке 7 и 8 представлено изменение частоты и напряжения соответственно, смоделированные в ПК Matlab, при наличии в энергорайоне дефицита мощности.

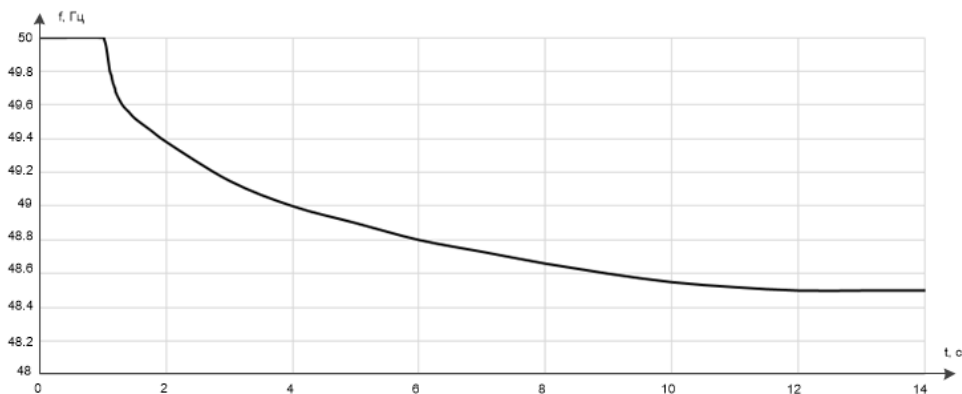


Рисунок 7 – Изменение частоты в выделенном энергорайоне, при отделении от энергосистемы, смоделированное в ПК Matlab

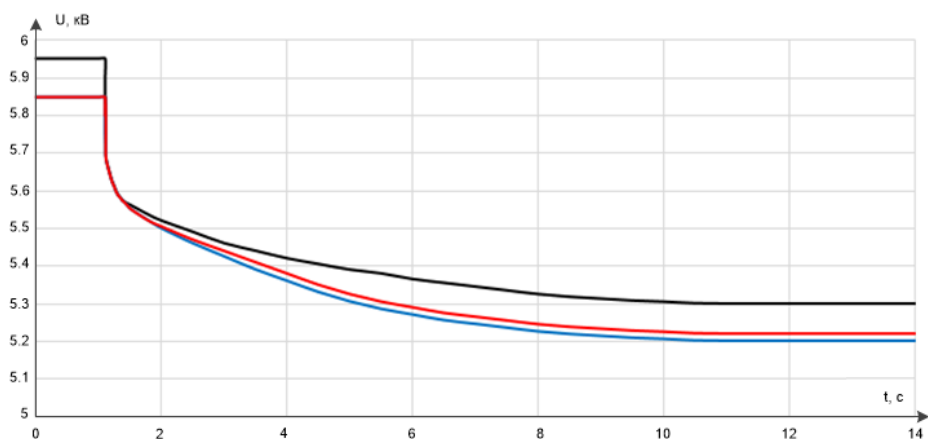


Рисунок 8 – Изменение напряжения на шинах подстанций при отделении от энергосистемы, смоделированное в ПК Matlab

В этом случае эффективным мероприятием является компенсация перетока мощности из энергосистемы отключением части нагрузок на подстанциях. Для этого необходимо создать модель вычислительного блока и блока распределения управляющих воздействий устройства АДА, а также модель пикового органа.

Моделирование данных блоков производится при помощи математического пакета Matlab. Выделение энергорайона на сбалансированную нагрузку при снижении частоты в энергосистеме выполняется по замеру перетока активной мощности на момент отделения от энергосистемы, при снижении напряжения – по замеру реактивной мощности.

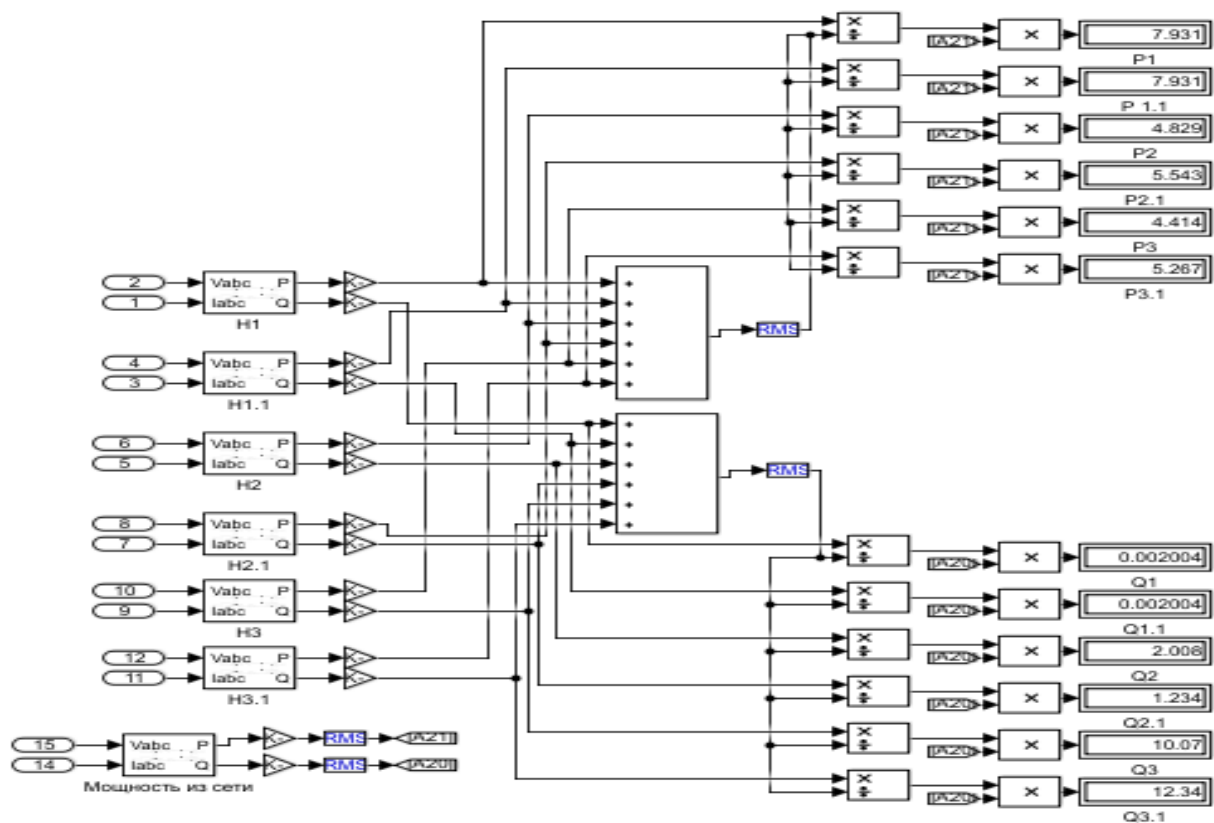


Рисунок 9 – Модель вычислительного блока (ВБ) и блока распределения управляющих воздействий (БРУВ)

ВБ работает следующим образом: из схемы поступают значения мощностей нагрузок каждой ПС, определяется их суммарное значение отдельно для активной составляющей и для реактивной. Далее вычисленные значения передаются в БРУВ, куда также ИБ передает величину перетока мощности из системы и перетоки мощности с подстанций. На основе данной информации рассчитывается коэффициент участия нагрузки каждой ПС в общем потреблении энергорайона, который используется для распределения УВ между ПС. Таким образом в каждый момент времени рассчитано количество УВ и произведено их распределение, однако отключение нагрузки происходит только в случае срабатывания ПО, модель которого представлена на рисунке 10.

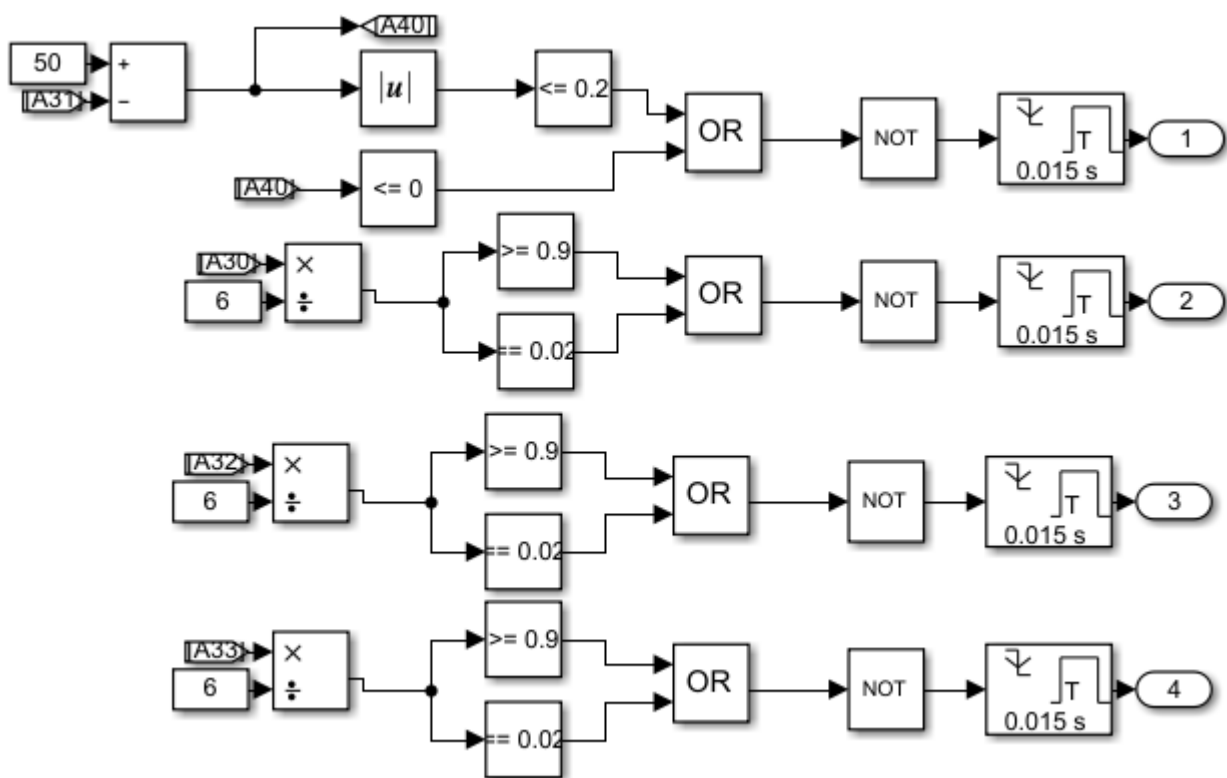


Рисунок 10 – Модель пускового органа (ПО)

В ПО поступает информация из ИБ о значении частоты в энергорайоне и напряжений на шинах ПС, происходит определение разницы данных значений с номиналом и сравнение результата с допустимым отклонением. В случае когда частота и/или напряжения находятся на допустимом уровне, нагрузка ПС остается включенной, в противном случае передается сигнал о реализации УВ. В ПО также предусматривается блокировка повторного включения нагрузки при восстановлении уровней частоты и напряжений до допустимых пределов.

Изменение частоты и напряжения при выделении энергорайона на сбалансированную нагрузку представлено на рисунке 11.

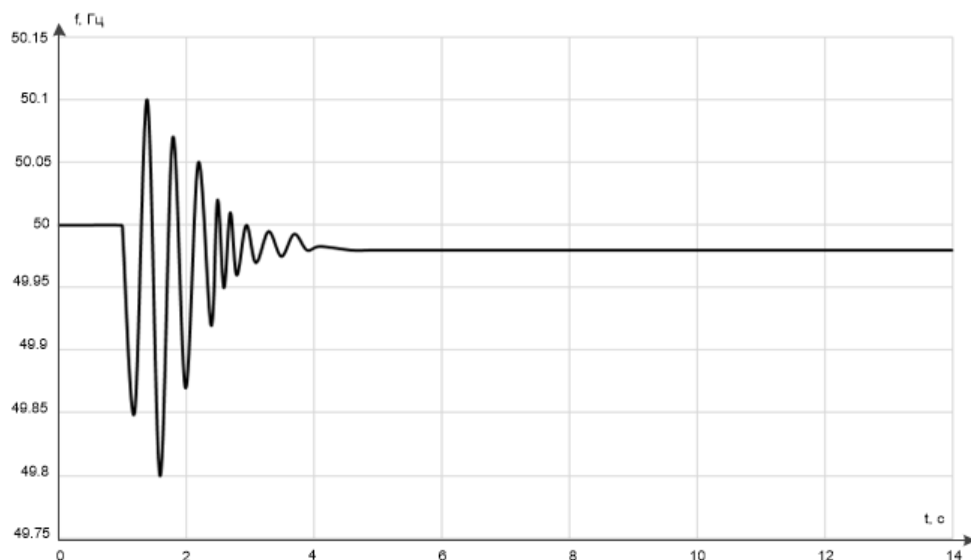


Рисунок 11 – Изменение частоты при выделении энергорайона на сбалансированную нагрузку

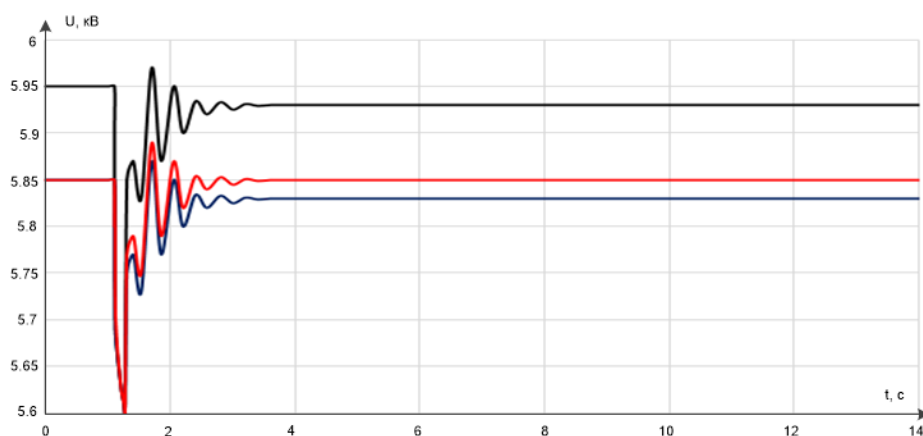


Рисунок 12 – Изменение напряжения на выводах генератора и на шинах НН подстанций в энергорайоне при выделении его на сбалансированную нагрузку

4.4. Выводы по разделу

В данном разделе приведена концепция построения адаптивной делительной автоматики и общий алгоритм действия устройства. В связи с тем, что энергорайоны с ЭСММ в большинстве случаев при подключении к энергосистеме являются дефицитными, сделано упрощение в алгоритме

построения автоматики – не учтены функции при выделении на изолированную работу энергорайона с избытком мощности.

На основе этого составлена структурно-функциональная схема устройства. Для правильной работы автоматики необходимы следующие функциональные части: пусковые органы, измерительный и вычислительный блоки, а также блок распределения управляющих воздействий.

Для проверки правильности работы автоматики в программном комплексе Matlab были разработано устройство АДА. Результат моделирования переходных процессов показал, что при выделении энергорайона параметры сети (частота и напряжение) находятся в допустимых значениях. Как следствие, разработка и внедрение АДА позволит существенно повысить эффективность выделения энергорайона на автономную работу без потери генерирующих мощностей, а также исключить финансовые убытки от недопуска электроэнергии и продуктов производства (нефть, газ и т.п.).

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является расчет технико-экономических показателей для оценки проводимой работы с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

В данном разделе будет определена перспективность и успешность научно-исследовательской работы, также осуществится выявление преимуществ информационных технологий для синхронизации частей энергосистем.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- Анализ конкурентоспособности технического решения;
- SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта;
- Планирование работ;
- Расчет бюджета проекта;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

5.1. Анализ конкурентоспособности технического решения

В настоящее время к проекту предъявляются требования экономической эффективности и привлекательности, а также коммерческого потенциала и ресурсоэффективности. Данные требования необходимы для повышения эффективности научно-технического исследования. При проведении научно-технических исследований необходимо сравнивать сильные и слабые стороны данного исследования с исследованиями конкурентов. Анализа конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет определить на какие стороны научно-технического исследования стоит обратить особое внимание для их последующего улучшения, а также позволяет осуществить выбор наиболее оптимального варианта.

Для анализа были выбраны два варианта исполнения современных устройств. Первый вариант – это использование ВОЛС, второй вариант – использование FACTS устройств.

Модель экспертной оценки построим по критериям, представленным в таблице 2.

Таблица 2 – Оценочная карта сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		FACTS устройства	ВОЛС	K_{FACTS}	$K_{ВОЛС}$
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Безопасность	0,15	5	5	0,75	0,75
2. Надежность	0,2	5	4	1	0,8
3. Надежность ремонта собственными силами	0,01	5	5	0,05	0,05
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,17	5	4	0,85	0,68
4. Простота эксплуатации	0,07	5	5	0,35	0,35
6. Качество интеллектуального интерфейса	0,08	5	5	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	0,25	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	4	0,2	0,2
3. Цена	0,1	3	3	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	0,4	0,4
6. Наличие сертификации разработки	0,04	5	5	0,2	0,2
Итого	1	52	49	4,8	4,33

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Исходя из оценки конкурентоспособности видно, в качестве информационной системы наилучшим будем применение FACTS устройств.

5.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательской работы. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды работы.

Посредством SWOT – анализа можно определить факторы и явления, которые могут ослабить НИР на рынке. Для анализа работы составлена таблица 3.

Для проведения SWOT-анализа опишем сильные и слабые стороны НТИ, и выявим возможности и угрозы для реализации работы, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 3 – SWOT – анализ НИР

Возможности внешней среды	Сильные стороны
В1. Поддержка со стороны управляющих ЕЭС организаций (ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «СО ЕЭС»); В2. Высокое качество электроснабжения потребителей; В3. Хорошее техническое оснащение; В4. FACTS устройства, с помощью которых возможно воздействовать на параметры синхронизации.	С1. Полная автоматизация процессов; С2. Обеспечение информацией о режиме и состоянии элементов сети в режиме on-line; С3. Полнота и наглядность предоставляемой информации; С4. Возможность управлять параметрами режима, а не подгонять их и ждать требуемых значений; С5. Сведение к минимуму критических ошибок при управлении.

Продолжение таблицы 3

Угрозы внешней среды	Слабые стороны
У1. Неготовность рабочего персонала к новому подходу и системам; У2. Сокращение инвестиций в модернизацию; У3. Несовместимость устаревших протоколов с новой технологией. У4. Малое использование программ в России; У5. Неблагоприятные климатические условия, ослабляющие сигнал GPS.	Сл1. Требуется высокий уровень развития распределительных сетей.

Наиболее весомым плюсом SWOT-анализа НТИ является обеспечение автоматизации процесса и обеспечение предоставления информации о режиме и состоянии элементов сети в режиме on-line. С помощью использования информационных систем фактор появления человеческой ошибки сводится к минимуму.

Рассматривая слабые стороны, можно сделать вывод, что наибольшее отрицательное влияние оказывает слабый уровень развития распределительных сетей.

Наиболее опасной угрозой внешней среды являются неблагоприятные климатические условия, которые могут создавать помехи для передачи информации, что в свою очередь не даст обеспечить плавность управления параметрами синхронизации, что приведет к неуспешности всего процесса.

Главной возможностью внешней среды является наличие в ней FACTS устройств, благодаря которым возможно управление параметрами синхронизации.

5.3. Планирование работ по НТИ

Планирование НИР осуществляется составлением календарных планов выполнения комплексов работ, а также определением денежных средств,

необходимых для реализации работ, а также трудовых и материальных ресурсов [1].

Необходимо определить трудоемкость работ каждого участника научного исследования, ведь трудовые затраты составляют основную часть стоимости разработки.

Трудоемкость выполнения научного исследования носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Линейный график работ

Содержание работ	Продолжительность работ, ожид/день			Исполнители
	t_{\min}	t_{\max}	$t_{ож}$	
1. Подготовительный этап				
1.1 Разработка технического задания	1	1	1	Р, инженер

Продолжение таблицы 4

1.2 Определение объема работ	1	3	2	Р
1.3 Составление плана расчета, подготовка литературы и справочных данных	3	10	6	Р, инженер
2. Исследовательская часть				
2.1 Изучение информации о синхронизации частей энергосистем	5	15	9	Инженер
2.2 Изучение возможностей ВОЛС	4	12	7	Инженер
2.3 Изучение возможностей FACTS устройств	4	12	7	Инженер
2.4 Изучение методики расчета возможности применения информационных систем для синхронизации частей энергосистем	4	10	6	Инженер
3. Экспериментальная часть				
3.1 Анализ применимости ВОЛС	3	8	5	Инженер
3.2 Анализ применимости FACTS устройств	8	15	11	Инженер
3.3 Создание отчета по проделанной работе	3	6	4	Инженер
3.4 Согласование с руководителем по проекту	2	3	2	Р, инженер
4. Внесение корректировок в разработки и исследования				
4.1 Корректировка проекта	5	7	6	Инженер
5. Завершающий этап				
5.1 Формирование комплекта документации	9	14	11	Инженер
5.2 Проверка комплекта документации руководителем	3	5	4	Р
5.3 Сдача готового проекта	1	1	1	Инженер
Итого	56	122	82	Р15/инженер 84

В рамках планирования технического проекта необходимо построить диаграмму Ганта, которая показана в Приложении Б.

Продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p определяется исходя из ожидаемой трудоемкости работ. T_p учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{Pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

$$T_{Pi} = \frac{89}{1} = 89$$

Общая продолжительность НТИ составила 89 рабочих дня ($t_{раб}$), при этом не учитывались выходные и праздничные дни. Для учета выходных и праздников переведем рабочие дни в календарные, для перевода воспользуемся формулой:

$$t_{кал} = \frac{t_{раб}}{k_{пер}} = \frac{89}{0,66} = 135 \text{ дней},$$

где $t_{кал}$ – общая продолжительность НТИ в календарных днях;

$t_{раб}$ – общая продолжительность НТИ в рабочих днях;

$k_{пер}$ – переводной коэффициент равный 0,66.

В данном пункте было проведено планирование НТИ. В результате планирования получено, что данную работу выполняют 2 сотрудника: руководитель проекта и инженер, но их деятельность не одновременна.

Была построена диаграмма Ганта, на основе которой определена общая продолжительность работ, составляющая 89 рабочих дней без учета праздничных и выходных дней. С учетом переводного коэффициента из рабочих дней в календарные, продолжительность проекта составляет 135 календарных дня.

5.4. Расчет бюджета НТИ

Бюджет проекта включает в себя следующие группы затрат:

- 1) материальные затраты;
- 2) затраты на оплату труда:
 - основная заработная плата;
 - дополнительная заработная плата;
- 3) Отчисления во внебюджетные фонды;
- 4) Амортизация;
- 5) Накладные расходы

5.4.1. Расчет материальных затрат

Материальные затраты отражают стоимость ресурсов полностью потребляемых в течение данного проекта.

Расчет материальных затрат приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет материальных затрат

Наименование	Ед. изм	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Бумага формата А4	лист	700	0,25	175
Ручка	шт	5	25	125
Карандаши	шт	3	10	30
Картридж ч/б	шт	1	800	800
Итого:				1130

5.4.2. Расходы на оплату труда

Основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, тыс.руб.;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, тыс.руб.;

$Z_{\text{зн}}$ – полная заработная плата, тыс.руб.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,3;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата $Z_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки работника: для инженера - 8000, для руководителя - 20000, на тарифный коэффициент $k_{\text{м}}$ и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке.

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 8000(1 + 0,3 + 0,3)1,3 = 16640 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{он}} = \frac{16440}{21} = 792,4 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_m , руб	$Z_{он}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб	Итого к выплате, руб
Инженер	16440	792,4	84	66561,6	13312,32	79873,92
Руководитель	41600	1980,9	15	29713,5	5942,7	35656,2
Итого $Z_{зп}$	115530,12 руб.					

5.4.3. Отчисления во внебюджетные фонды

Обязательные отчисления по установленным законодательством нормам в органы государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году вводится пониженная ставка – 27,1%.

$$Z_{внеб} = 0,271 \cdot 115530,12 = 31308,7 \text{ руб.}$$

5.4.4. Амортизационные отчисления

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году.

Рассчитаем амортизацию компьютерной техники ($I_{ам.комп.}$). Для расчета амортизации оборудования воспользуемся формулой:

$$I_{ам.комп.} = \frac{T_{исп.к}}{365} \cdot K_{комп} \cdot H_a,$$

где $T_{исп.к}$ – время использования компьютера;

$K_{комп}$ – стоимость компьютера;

H_a – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{ср}},$$

где $T_{ср}$ – срок службы компьютера, год.

$$I_{ам.комп.} = \frac{T_{исп.к}}{365} \cdot K_{комп} \cdot H_a = \frac{84}{365} \cdot 40000 \cdot \frac{1}{7} = 1095,89 \text{ руб.}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$K_{комп}$, руб.	$T_{исп.к}$, дней	$I_{ам.комп.}$, руб
Ноутбук Lenovo G580 с ПО	40000	84	1095,89

5.4.5. Накладные расходы

Накладные расходы – расходы, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 16% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{\text{накл}} = I_{\text{мат}} + ЗП + З_{\text{внеб}} + I_{\text{ам.комп.}} = 0,16 \cdot (1130 + 115530,12 + 31308,7 + 1095,89) = 23850,4$$

5.5. Формирование бюджета затрат на разработку проекта

Рассчитаем себестоимость проекта ($K_{\text{проекта}}$):

Таблица 8 – Смета бюджета

Виды затрат	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	1130
Амортизация компьютерной техники	1095,89
Затраты на оплату труда	115530,12
Отчисления во внебюджетные фонды	31308,7
Накладные расходы	23850,4
Себестоимость проекта	172915,11

Бюджет завтра проекта включает в себя материальные затраты (1130 руб.), амортизацию компьютерной техники (1095,89 руб.), зарплату на оплату труда инженера и руководителя проекта (115530,12 руб.), отчисления во внебюджетные фонды (45430,2руб), которые составили 27,1% от полной зарплаты работников, и накладные расходы (23850,4 руб.), которые составляют 16% от всех издержек. Бюджет проекта составил 172915,11 рублей.

5.6. Анализ и оценка научно-технического уровня НИР

Оценка научной ценности, технической значимости и эффективности проекта производится с помощью расчета коэффициента научно-технического уровня. Расчет коэффициента производится методом балльных оценок, суть которого состоит в присвоении каждому из признаков научно-технического уровня определенного количества баллов по принятой шкале. Общую оценку можно сделать, просуммировав количество баллов по всем признакам с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$HTY = \sum_{i=1}^n k_i \cdot P_i,$$

где k_i – весовой показатель i – го признака;

P_i – количественная оценка i – го признака.

Таблица 9 – Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,4
Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,2

Таблица 10 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 11 – Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8

Продолжение таблицы 11

Разработка способа (алгоритм, вещество, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0,5

Таблица 12 – Возможность реализации по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
Уже реализуется, но есть много недостатков	8
В течение первых лет	6
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0,4, \quad P_1 = 11, \quad k_2 = 0,4, \quad P_2 = 8,$$

$$k_3 = 0,2, \quad P_3 = 8, \quad k_4 = 0,2, \quad P_4 = 2.$$

$$HTV = 0,4 \cdot 11 + 0,4 \cdot 8 + 0,2 \cdot 8 + 0,2 \cdot 2 = 9,6$$

По результатам расчета коэффициента научно-технического уровня видно, что данная научно-исследовательская работа имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, но при этом для возможности ее использования только необходимо современное техническое оснащение.

5.7. Выводы по разделу

В данном разделе выпускной квалификационной работы представлен план выполнения работы, произведена оценка трудоемкости работы, а также была рассчитана стоимость затрат. С помощью SWOT - анализа научно-исследовательского проекта были выявлены сильные и слабые стороны проекта.

По диаграмме Ганта определена общая продолжительность работ, составляющая 87 рабочих дней без учета праздничных и выходных дней. С учетом переводного коэффициента из рабочих дней в календарные, продолжительность проекта составляет 135 календарных дня.

Стоимость затрат научно-исследовательской работы составляет 172915,11 рублей.

В результате комплексного SWOT - анализа было выявлено, что данная работа обладает большими преимуществами, несмотря на наличие слабых сторон и угроз. Во-первых, синхронизация частей энергосистем происходит в автоматическом режиме. Во-вторых, интерфейс комплексов ВОЛС и FACTS устройств позволяет получать значения параметров режима on-line, что очень удобно для диспетчера.

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня данная работа имеет высокую значимость теоретического и практического уровня, но при этом для возможности ее использования только необходимо современное техническое оснащение.